

# ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВОДОКАПЕЛЬНЫХ ФОРСУНОК С РАСХОДОМ ВОДЫ 10...15 Л/Ч

**Майсурадзе М.В., Ануфриев Н.П., Бессараб А.А.**

*Руководитель – проф., д.т.н., Юдин Ю.В.*

ГОУ ВПО УГТУ-УПИ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, [tofm@mail.ustu.ru](mailto:tofm@mail.ustu.ru).

Для закалки стальных изделий представляют большой практический интерес водокапельные устройства, позволяющее осуществлять регламентированное охлаждение деталей по заданному режиму. Определение аналитических зависимостей, связывающих конструктивные и технологические параметры водокапельных закалочных устройств с их охлаждающей способностью и свойствами закаленных изделий, может служить основой для обоснования режимов термической обработки и упростит выбор требуемой конструкции закалочного устройства.

Изучены водокапельные центробежно-струйные форсунки с интегральным расходом воды от 10 до 15 л/ч [1]. Проведены исследования гидравлических (плотность орошения) и теплотехнических (охлаждающая способность) параметров форсунок в зависимости от их конструктивных особенностей и технологических факторов режима закалки. Изменяли следующие конструктивные параметры форсунок: диаметр периферийных отверстий (0,8...0,9 мм), ширину тангенциальных каналов (0,5...0,8 мм) и диаметр камеры смешивания (1,7...1,8 мм). Давление подаваемой в форсунку воды варьировалось в диапазоне 170...300 кПа, расстояние от сопла форсунки до охлаждаемой поверхности – в диапазоне 150...450 мм. Исследования проводили в лабораторных условиях на специальной установке с использованием термозонда из стали марки X18H10T.

Исследовано 15 форсунок различного типоразмера. Регрессионный анализ экспериментальных данных позволил получить аналитическое уравнение, связывающее плотность орошения исследуемых форсунок с их конструктивными параметрами при расстоянии до охлаждаемой поверхности 450 мм и давлении воды 200 кПа:

$$Q = -0,004 - 0,039d_{\text{отв}} + 0,028d_{\text{кс}} + 0,094d_{\text{к}}, \quad (1)$$

где  $Q$  – средняя плотность орошения, л/(м<sup>2</sup>с);  $d_{\text{отв}}$  – диаметр периферийных отверстий вкладыша форсунки, мм;  $d_{\text{кс}}$  – диаметр камеры смешивания, мм;  $d_{\text{к}}$  – ширина тангенциальных каналов, мм.

Отношение табличного значения критерия Фишера к расчетному для уравнения (1) составляет 93, что говорит об адекватности описания данным уравнением результатов эксперимента. Наибольший вклад в значение средней плотности орошения вносит изменение ширины тангенциальных каналов. При их увеличении от 0,5 до 0,75 мм (на 50 %) плотность орошения увеличивается

на 0,023 л/м<sup>2</sup>с (на 80 %). Увеличение диаметра камеры смешивания приводит к повышению средней плотности орошения, а увеличение диаметра периферийных отверстий ее снижает.

Повышение давления воды от 170 кПа до 240 кПа (при расстоянии до охлаждаемой поверхности 450 мм) приводит к возрастанию средней плотности орошения в 1,2 раза (от 0,033 до 0,038 л/м<sup>2</sup>с). Дальнейшее увеличение давления до 300 кПа снижает среднюю плотность орошения до 0,028 л/м<sup>2</sup>с. Это объясняется увеличением корневого угла факела форсунки.

Уменьшение расстояния до охлаждаемой поверхности от 450 до 300 мм при давлении воды 300 кПа не сказывается на значении средней плотности орошения, так как не происходит существенного изменения площади распыла. Уменьшение же расстояния до охлаждаемой поверхности от 300 до 150 мм приводит к уменьшению площади распыла в два раза, следствием чего является увеличение средней плотности орошения (от 0,03 л/м<sup>2</sup>с до 0,06 л/м<sup>2</sup>с).

Получено уравнение, связывающее среднюю плотность орошения форсунок с давлением воды и расстоянием до охлаждаемой поверхности:

$$Q = 0,5020 - 0,0016P - 1,1420H + 0,0019PH + 1,3424 \cdot 10^{-6}P^2 + 0,6859H^2 \quad (2)$$

где: Q – средняя плотность орошения, л/(м<sup>2</sup>с); P – давление воды, кПа; H – расстояние до охлаждаемой поверхности, м.

Для уравнения (2) отношение табличного значения критерия Фишера к расчетному составляет 84, а коэффициент множественной корреляции – 0,95. Уравнение показывает, что для увеличения плотности орошения необходимо уменьшить и расстояние до охлаждаемой поверхности, и давление воды.

Изучена охлаждающая способность форсунок в зависимости от плотности орошения. Исследовалось охлаждение поверхности термозонда в двух точках факела форсунки. В точке 1 плотность орошения составляла 0,26 л/м<sup>2</sup>с, в точке 2 – 0,07 л/м<sup>2</sup>с. В результате получены зависимости температуры от времени охлаждения (рис. 1), показавшие, что при уменьшении плотности орошения в 4 раза средняя скорость охлаждения в температурном интервале 750...250 °С снижается в 2 раза – от 8 до 16 °С/с.

Изменяя конструктивные параметры центробежно-струйных форсунок и технологические параметры режима водокапельной закалки, можно получить необходимое значение средней плотности орошения для достижения требуемой интенсивности охлаждения.

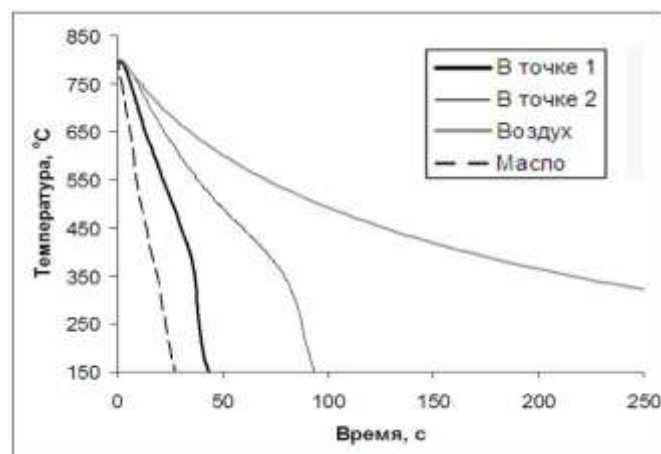


Рисунок 1 Зависимость изменения температуры поверхности термозонда от времени при охлаждении в различных средах

Например, при одностороннем охлаждении в точке 1 с плотностью орошения  $0,26 \text{ л/м}^2\text{с}$  в поверхностных слоях плиты толщиной 150 мм из стали 40ХГМР образуется около 30% феррита и перлита, остальное - бейнит и мартенсит (рис. 2). На глубине 150 мм от поверхности количество перлита и феррита составляет 80%. При охлаждении плиты в точке 2 с плотностью орошения  $0,07 \text{ л/м}^2\text{с}$  структура в поверхностных слоях состоит из 80% феррита и перлита, остальное - бейнит и мартенсит. На глубине 40 мм доля перлита и феррита в структуре достигает 100%. Для получения более равномерной структуры и свойств плиты форсунки в закалочном устройстве необходимо устанавливать таким образом, чтобы разброс плотности орошения был минимальным.

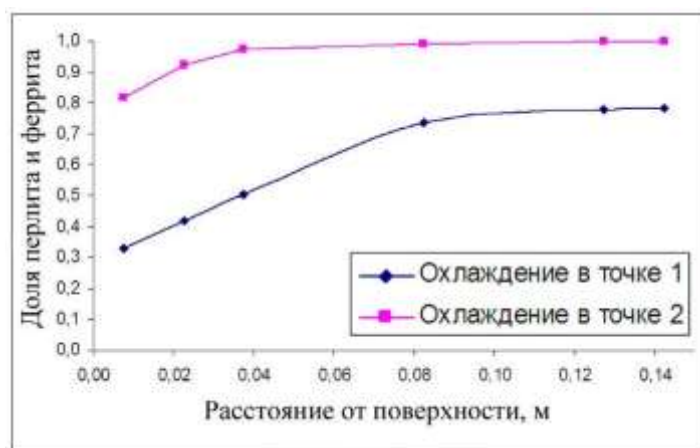


Рисунок 2 Расчетное распределение феррито-перлитной смеси по сечению плиты толщиной 150 мм из стали 40ХГМР.

1. Майсурадзе М.В. Сравнительный анализ охлаждающей способности водокапельных форсунок центробежно-струйного типа / М.В. Майсурадзе, Ю.В. Юдин // XV Международная конференция «Трубы-2007», в сб. Челябинск: 2007, с. 124...130.